第 37 卷第 13 期　　生　态　学　报　　Vol.37,No.13
2017 年 7 月　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　Jul.,2017

DOI: 10.5846/stxb201507311622
黄和平.生命周期管理研究述评.生态学报,2017,37(13):4587-4598.
Huang H P.Critical review of life cycle management.Acta Ecologica Sinica,2017,37(13):4587-4598.

生命周期管理研究述评

黄和平[1,2,*]

1 江西财经大学,鄱阳湖生态经济研究院,南昌　330013

2 中国科学院生态环境研究中心,城市与区域生态国家重点实验室,北京　100085

摘要:生命周期管理起源于生命周期思想,它是生命周期思想在实践中的具体应用,是面向可持续生产和消费,对产品、工艺和服务的全生命周期环境影响进行的综合管理,是解决复合生态系统中结构无序、效率不高和代谢冗余的有效途径,是基于生命周期评价原则与框架的一种环境管理手段或环境管理体系。全面回顾了生命周期管理的起源与内涵,阐述了生命周期管理与生命周期评价的区别与联系,梳理了生命周期管理与环境管理体系的关系。对生命周期管理在产品、企业、行业及城市等层次上的具体应用进行了总结与述评,并对其今后需深入研究的方向进行了展望。

关键词:生命周期管理;生命周期评价;产业生态系统;环境管理体系;产业生态学;环境影响

Critical review of life cycle management

HUANG Heping[1,2,*]

1 *Institute of Poyang Lake Eco-Economics, Jiangxi University of Finance & Economics, Nanchang* 330013, *China*

2 *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100085, *China*

Abstract: Life cycle management (LCM) originated from life cycle assessment (LCA). It is an environmental management method or environmental management system (EMS) based on the principles or framework of LCA. LCM involves the application of LCA ideas, including comprehensive management of entire life cycles of products, techniques, and services based on sustainable production and consumption. It is an effective route to resolve problems such as structure disorder, lower eco-efficiency, and redundant metabolism in complex ecosystems. The origin and connation of LCM were fully reviewed, the differences and connections between LCM and LCA were examined, and the relationship between LCA and EMS was also analyzed. The application of LCM at the levels of products, enterprise, industry, and city were summarized and critically reviewed. At product level, LCM was mostly applied to the evaluation and management of industrial products, but rarely to technique and engineering or assessment of environmental performance. At enterprise level, LCM research focused on comprehensive management and decision-making regarding products and techniques for a few large enterprises, but rarely for medium-sized or small enterprises. At industry level, available LCM methods were applied to deconstruct the value chains of different industries and industrial ecological chains, which were used to evaluate resource-use efficiency, material consumption intensity, and environmental impact of all chains. At city level, LCM mainly focused on solid waste management, and research methods included material flow analysis, life cycle cost analysis, and life cycle assessment. Lastly, future research fields of LCM were discussed from six perspectives.

基金项目:中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室开放课题"基于复合生态系统的产业生命周期管理及空间监管方法研究"(SKLURE 2014-2-5); 国家自然科学基金项目(41661113); 教育部人文社科基金项目(14YJA790013); 江西省教育厅科技项目(GJJ14339); 江西省经济社会发展智库项目(16ZK15)

收稿日期:2015-07-31;　　**网络出版日期**:2017-02-23

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: hphuang2004@163.com

Key Words: life cycle management (LCM); life cycle assessment (LCA); industrial ecosystem; environmental management system (EMS); industrial ecology; environmental impact

近四十年来,随着中国改革开放,经济快速发展,工业化与城市化速度大大加快。一方面,经济发展的成果带来了极为丰富的产品、数量众多的企业或工厂、不断聚集的产业、分工日趋精细的行业、功能不断多样化的城镇;另一方面,由于受经济利益的驱动,产品有益或无益的更新换代也大大加快、企业或工厂数量像潮水般涌现或衰落、产业聚集效应鲜明但不持久、新旧行业不断更替、居民生活的便利化程度不断提高、城市或区域的差距也不断拉大。而伴随这些现象带来的是资源枯竭、生态退化、环境恶化等严重问题,其中产业生态系统结构无序或不完善、上下游产业链(网)不完整、物质代谢冗余则是产生这些问题的主要原因,其突出的表现形式就是产品或服务的生命周期缩短、废弃物排放增多、企业各自为政、园区功能无法整合、城市发展短视等,其带来的后果则是"高投入、高消耗、高排放、低效率"。因此,如何突破制约因素、优化产业结构、提高生态效率、促进循环经济、加强生态系统管理,正是产业生态学相关领域研究的主要内容。

产业生态系统是一类由人、资源、环境和市场组成的社会-经济-自然复合生态系统,也是在产业生态学指导下建立的动态系统,它涵盖了从自然的生态系统到完全的人工生态系统[1,2],其组织层次包含有原材料及产品购销、企业生产、园区运转、城市发展等。产业生态系统的"链-网"结构、上下游关系及代谢过程有着与产品生命周期类似的过程,将产品生命周期评价(LCA)的原理应用于生态系统尺度上,有利于产业生态系统的结构优化、效率提高与科学管理。目前建立在生命周期评价理论与方法基础上的生命周期管理(LCM)逐渐引起了研究机构、企业和公众的关注[3]。这是因为生命周期管理(LCM)是生命周期思想在产业生态学及其它相关学科在实践中的具体应用,是解决复合生态系统中结构无序、效率不高和代谢冗余的有效途径,是产业生态系统中面向可持续生产和消费,对产品(组合)、工艺和服务的全生命周期环境影响进行的综合管理[4]。

生命周期管理(LCM)起源于产品生命周期思想,该思想关注产品、工艺或服务整个生命周期的资源、环境、社会和经济影响,旨在减少其生产、运输、贮存、消费和处置等一系列过程中的资源消耗与污染排放,并提高其社会经济与生态环境效益[5]。它将资源节约及污染预防的观念扩展到整个生命周期,评估并减少生命周期各阶段的资源环境影响及生态与社会经济效益[6]。

1 生命周期管理的缘由

1.1 生命周期

顾名思义,生命周期管理最初借鉴于对生命周期概念的认识,生命周期(LC)则源于生物学概念,其原意表示生物从出生(婴幼期)、成长(少年期)、兴盛(青壮年期)、衰退(中老年期)及死亡(垂暮期)的整个生命历程,简单理解,就是一个生物个体或组织的生老病死①;如今,生命周期的概念应用很广泛,特别是在政治、经济、环境、技术、社会等诸多领域经常出现,其基本涵义可以通俗地理解为"从摇篮到坟墓"(Cradle-to-Grave)的整个过程。如今社会经济领域特别是环境经济学界将其引申到产品生命周期的描述,它囊括了产品从原材料采掘、加工、制造、贮存、运输、消费使用、直至最终处置废弃的一系列过程,就是从自然中来回到自然中去的全过程,也就是既包括制造产品所需要的原材料的采集、加工等生产过程,也包括产品贮存、运输等流通过程,还包括产品的使用过程以及产品报废或处置等使废弃物又回到自然的过程,这个过程构成了一个完整的产品的生命周期;由此衍生开来,企业、行业、园区、城市、区域、国家、甚至地球等都有从兴起、成长、兴旺、衰落直至死亡的历程,都有其自身特定的生命周期,其表现的只是规模、空间及时间上的区别而已。

1.2 生命周期评价

生命周期评价(LCA)起源于20世纪60年代的能源危机,由于能源危机的出现和对社会产生的巨大冲

① 北京卫生信息网[引用日期 2014-03-27, http://www.bjhb.gov.cn/gzfwq/wyckjkzs/smzqbjzs/]

击，美国和英国相继开展了能源利用的深入研究，生命周期评价的概念和思想也逐步形成。1990 年国际环境毒理学与化学学会（The Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC）将其定义为：一种对产品、生产工艺及活动的环境压力进行评价的客观过程，它是通过对物质、能量利用以及由此造成环境排放进行识别和量化进行的，其目的在于评估能量和物质的利用以及废物排放对环境的影响，同时寻求环境改善机会以及如何利用这种机会。1993 年，SETAC 在"生命周期评价纲要——实用指南"中，将其研究框架分为目标与范围确定、清单分析、影响评价和改善评价四个部分。1997 年，国际标准化组织颁布的 ISO14000 环境管理体系（Environmental Management System, EMS）"生命周期评价——原则与框架"正式将这四个部分纳入其理论框架[7]。LCA 后来在生态环境领域有着广泛的应用，它是一种评价产品（组合）、工艺或服务从原材料采集，到产品生产、运输、贮存、使用及最终处置等一系列过程的整个生命周期阶段（从摇篮到坟墓）的资源能源消耗及生态环境影响的工具[8]，而其方法学的发展往往是由其应用领域的需求推动的[9]。通过梳理过去几十年的文献报道，可以发现 LCA 的应用对象已从单一的工业产品（组合）、工艺或服务逐步拓展到自然资源的采掘、生产工艺或技术、产业园区以及各类大小型工程项目等具有系统性质的评价对象[10-11]，涉及的领域包括上述评价对象的能源消耗、环境影响、经济评价以及社会政策与决策情景模拟等方面[12-13]。然而针对评价对象的不断拓展和日趋复杂化，LCA 的方法体系也在不断地改进自身缺陷，发展出新的形式或方法。根据评价对象的系统边界及方法学原理的不同，生命周期评价方法可分为过程生命周期评价（Process-based LCA, PLCA）、投入-产出生命周期评价（Input-output LCA, I-O LCA）以及混合生命周期评价（Hybrid LCA, HLCA）。这三类 LCA 方法在分析和评价不同尺度的研究对象时各有利弊，在研究具体问题时往往需要通过结合使用以发挥各类方法的优势[9]。PLCA 的优势在于其能够针对具体的评价对象给出详细的评价结果，而 I-O LCA 的优势在于评价结果的完整性，HLCA 则由于结合了过程生命周期评价的针对性与投入-产出生命周期评价边界的完整性，不断提高评价结果的精准性，因而它是未来 LCA 方法学的重要发展方向之一[9]。

1.3　生命周期管理

如果说 LCA 是一种评价产品、工艺或服务从原材料采集，到产品生产、运输、贮存、使用及最终处置等一系列过程的整个生命周期阶段（从摇篮到坟墓）的资源能源消耗及生态环境影响的工具，生命周期管理（LCM）则是基于生命周期评价原则与框架的一种环境管理手段或环境管理体系（EMS），其共同点是都将环境因子融入整个产品（组合）、工艺或服务的设计、制造、运输、贮存、消费、处置过程中[7]，不同点则是 LCM 是基于 LCA 分析评价结果的基础之上对生命周期各阶段或环节的环境最优决策提出管理方法，它是面向可持续生产和消费，对产品（组合）、工艺或（和）服务的全生命周期环境影响进行的综合管理[4]。目前研究最为成熟的是针对产品的生命周期管理，所谓产品生命周期管理（PLM），就是指从人们对产品的需求开始，到产品淘汰报废的全部生命历程。PLM 是一种先进的企业信息化思想，其目的是让人们思考在激烈的市场竞争中，如何用最有效的方式和手段来为企业增加收入和降低成本。

2　生命周期管理的内涵

生命周期管理（LCM）目前仍处于发展的初期，对其定义或内涵尚未形成统一的认识。2001 年 8 月 27 日—29 日，第一届 LCM 国际研讨会在哥本哈根举行，会议对 LCM 的定义、历史基础以及 LCM 与其它产业生态学系统方法的关系进行了讨论，很多跨国公司和中小企业的代表，以及不少发展中国家相关领域的学者和官员都参与了讨论[14]，但未形成统一认识。

2001 年，SETAC 欧洲部把 LCM 界定为："一种基于生命周期观点，包括概念、技术与规程在内的灵活的综合性框架，它从环境、经济、技术和社会多个方面促使产品或组织达到持续的环境改进"[15]。联合国环境规划署（The United Nations Environment Programme, UNEP）和 SETAC 于 2002 年启动了生命周期行动（LCI），对 LCM 进行了深入全面的研究。该行动的研究报告指出："生命周期管理是一种产品或组织管理系统，目标是将一个组织的产品或产品组合的整个生命周期以及价值链所产生的环境负荷和社会经济成本最小化"，

“LCM 关注产品或组织系统的持续改进,它不是一种单一的工具或方法,而是一种管理体系,这种体系从各种计划、概念和工具中收集、构建并传播产品或组织全生命周期的环境、经济与社会各方面的信息”[15]。

除国际组织外,许多学者也对 LCM 的定义进行了探索。Brady 提出 LCM 是生产和消费向可持续发展和生态效益转变的必然结果,是使产品和服务全生命周期中环境负荷、风险及成本最小化的整体性方法[16];Remmen 则认为 LCM 是对清洁产品和清洁生产技术方法的延伸[17];Saur 提出 LCM 是对组织及其产品和服务持续改进的框架,该框架可以整合到研发、产品设计、战略计划、采购、销售和管理等各个领域,其改进涉及技术、经济、环境和社会等层面[18];Sonnemann 认为 LCM 将生命周期思想运用于实践,是一种采用生命周期评价和生命周期成本分析等工具的内部管理系统,适用于商业、工业和其他需要可持续经营管理系统平台的组织[19]。严曾提出 LCM 是以经济目标和环境目标的双赢机制为目的,分析和最小化产品、服务、活动全生命周期中的环境影响,优化环境管理的有效方法,并通过具体实例说明了实施 LCM 为企业提高利润和降低 EHS(环境、健康和安全)负面影响带来的显著效益[20]。

3　生命周期管理与相关概念的关系

3.1　生命周期管理与生命周期评价的区别与联系

生命周期评价(LCA)的本质是对产品、工艺、组织及活动在其整个生命周期各环节的社会、经济、生态及环境影响进行评估。以产品为例,其生命周期包括从原材料获取(采掘)到加工、运输、贮存、消费及最终处置,尽管各组分的循环时期长短不同,但最终都以原来或其他形式循环再生,其整个过程就称为该产品的生命周期[21]。而将整个过程及各环节所产生的社会、经济、生态及环境影响程度及结果予以评估的过程就称为生命周期评价。20 世纪 90 年代,国际标准化组织(International Standardization Organization, ISO)的 TC207 技术委员会在 SETAC 的 LCA 框架基础上提出了 LCA 评价原则与方法论框架,颁布了 ISO14040 标准,其框架包括 4 个有机联系部分:目标与范围确定、清单分析、影响评价、结果解释与报告[22]。

LCA 和 LCM 源于同样的理论基础——生命周期思想。两者均关注生命周期中的潜在环境影响和持续改进策略,但侧重有所不同。LCA 为 LCM 提供可靠的理论基础、方法指导和决策依据,其最终目的在于生命周期决策管理,LCM 是生命周期评价的最高形式,其管理目标是减小环境影响,提高生态效率。另一方面,生命周期管理措施的正确与否将决定生命周期评价中的环境影响能否得到有效削弱,其结果可进入下一轮的生命周期评价,从而不断改进管理策略。在环境管理中,LCA 提供了一种系统化的定量评价工具,但其时间和成本耗费较高;LCM 方法相对于 LCA,操作加以优化,并结合经济目标考虑如何在产品、工艺、服务、活动生命周期中尽可能减少能源、物质的消耗和污染物的排放,突出其中最需改进的环节,更具有实际推广的普遍意义[20]。可以认为,LCA 是实施 LCM 最基本的定量评价方法,LCM 则同时考虑生命周期内各环节的环境、经济、技术和社会等各个方面的因素[18],因此,除 LCA 外,其他的定量评价工具,如生命周期成本分析(LCC)、物质流分析(MFA)、清洁生产审核(CPA)、投入产出分析(IOA)、环境风险评价(ERA)、环境影响评价(EIA)和成本效益分析(CBA)等,都是同等重要的。

3.2　生命周期管理与环境管理体系的关系

目前,LCA 方法已形成了基本的概念框架、技术步骤和系统软件,有关产品生态设计的理论尽管尚不完善,但在实践上发展很快,其中生命周期管理(LCM)就是一系列新的设计理念和方法之一,并正在成为产业界的热点和发展趋势[23]。

正如前文所述,生命周期管理(LCM)是一种产品或组织管理系统,目标是将一个组织的产品或产品组合的整个生命周期以及价值链所产生的环境负荷和社会经济成本最小化,LCM 关注产品或组织系统的持续改进,它不是一种单一的工具或方法,而是一种管理体系,这种管理体系源于国际标准组织(ISO)制定的 ISO14000 系列环境管理标准,它包含了环境管理体系(EMS)、环境审核、环境标志、生命周期评估、环境行为评价及产品中的环境因素等国际环境管理领域的研究与实践的焦点问题。ISO14000 系列标准的核心是管理

体系标准(ISO14001—ISO14009),其中以 ISO14001 环境管理体系(EMS)标准最为重要,因为 ISO14001 是企业建立环境管理体系以及审核认证的准则,是一系列随后标准的基础。环境管理体系标准要求组织在内部建立并保持一个符合标准的环境管理体系,体系由环境方针、规划、实施与运行、检查和纠正、管理评审等 5 个基本要素构成。实施环境管理体系标准,为组织内部对自身环境行为的约束机制,同时也是系列标准中其他标准的有效实施,发挥先进环保思想与技术作用的基础,促进组织环境管理能力和水平不断提高,最终实现组织与社会的经济效益与环境效益的统一[24]。生命周期环境管理体系(EMS)是考虑产品、工艺或服务从调研分析、原材料获取、产品设计、制造、运输、销售、使用、废弃乃至回收的全生命周期过程的管理方案,它在产品生命周期末端加入了回收阶段以及再使用、再制造等环节,这些环节是构成产品全生命周期闭环的关键。在此基础上建立的全生命周期环境管理体系理论框架,不仅体现了产品全生命周期管理的闭环管理模式,而且在共享信息、协同工作的基础上,强调了回收及废置处理阶段对整个闭环的影响,并在产品全生命周期过程中设有污染物跟踪管理,具有“绿色思想”的一般特征,实现了产品全生命周期管理整体上的绿色化,也是循环经济的具体体现[25]。因此,从某种意义上说,LCM 是 EMS 系列标准或内容的一部分。

4　生命周期管理的应用实践

LCM 的理念和方法逐渐为大众接受并广泛应用于各个领域,尤其被广泛应用于固体废弃物综合管理中,如通过对不同处置方式进行比较从而确定最佳的管理策略。目前的应用实践主要在产品、企业、行业和城市等 4 个层次上展开。

4.1　产品生命周期管理

产品生命周期的概念最早出现在经济管理领域,是由 Dean[26]和 Levirt[27]提出的,提出的目的是研究产品的市场战略。当时,对产品生命周期的划分也是按照产品在市场中的演化过程,分为推广、成长、成熟和衰亡阶段[28]。经过 50 多年的发展和并行工程的提出,产品生命周期的概念从经济管理领域扩展到了工程领域,产品生命周期的范围也从市场阶段扩展到了研制阶段,提出了覆盖从产品需求分析、概念设计、详细设计、制造、销售、售后服务,直到产品报废回收全过程的产品生命周期的概念[29]。目前环境领域对于产品的生命周期管理主要侧重于对产品的生命周期环境影响的指标体系和管理方法等方面的评价。如 Yukiko H 通过生物制药与医疗机构中介公司(Pharmaceuticals and Medical Devices Agency, PMDA)提供的 726 条建议对 2001—2010 年间日本药品的生命周期管理过程进行了分析,提出了具有创新价值的 LCM 评价指标[30]。Evans K 则从技术角度开发了 LCM 的潜力,对肯尼亚的木炭利用和可持续生产的环境影响进行了分析[31]。美国 3M 公司(Minnesota Mining and Manufacturing)将生命周期管理融入产品的研发过程,通过对黏合剂开展生命周期评价,识别了产品形状由棒状改为小球状在节约能源、降低风险、维护和清洗等多方面的优势,从而最终确定了产品设计形状为小球形[4]。Hery Andriankaja 等从交通运输材料中轻质建材更具有可持续性这一角度出发,针对目前的生态设计方法不适合于轻质建材的环境要求,提出了一个基于产品生命周期管理(PLM)体系的便于操作的生态设计整体性方法[32]。Harald Gmelin 等从产品生命周期管理的 3 个支柱(产品数据管理、过程管理和工程项目管理)出发,提出了产品生命周期管理潜力的概念,并应用于产品可持续发展的评估当中[33]。Zhou J 等基于电子元器件及控制系统占了维修部分的大部分比例,提出了一个安全高效且可操作的基于目标导向的生命周期管理模式[34]。Yemane A 等从可持续项目生命周期管理角度出发,提出了瑞士农村社区的手泵技术转移的评估模型和方法[35]。李德治依照轮胎产品的演化过程,分析了轮胎生产与资源循环利用的生命周期过程,对轮胎产品全生命周期管理的内容进行研究,把废旧轮胎回收处理纳入全生命周期管理范围,延伸了产品生命周期的内涵,实现了“资源-产品-资源”全生命周期管理[36]。黄双喜等对产品全生命周期管理的发展和产生背景及其在企业信息环境中所处的角色和地位等进行了分析[37]。

由上可见,LCM 在工业品环境评价和管理中得到了广泛的应用,但对工艺或工程类的应用偏少,用于环境效益的评价研究也很少,王明新等以中国农村常见的 8 m^3 户用沼气工程为例,应用 LCA 方法进行节能减排

清单分析和效益评价,结果表明户用沼气工程生命周期对富营养化、环境酸化、能源耗竭、温室效应、人体毒性和光化学氧化 6 类环境影响类型的减缓作用分别相当于 2000 年世界人均环境影响潜力的 85%、54%、39%、27%、19%和 6%,生命周期净节能减排效益显著,为促进农村可再生能源持续发展和改善农村生态环境做出了一定贡献[38]。周亮亮等采用全生命周期分析方法,建立清洁燃煤发电技术的完整性生命周期清单,对循环流化床、增压流化床联合循环、整体煤气化联合循环和超临界清洁燃煤电厂,从建设、运行、退役 3 个阶段的能源和资源消耗、环境影响、生命周期成本进行评价,并对 4 种电厂进行了生命周期综合评价,结果表明超临界发电的能源回报率高、环境影响较小、资源和成本低,其综合评价指标较好[39]。

4.2 企业生命周期管理

企业生命周期理论认为企业也像生命体一样,经历由盛到衰、从生到死的过程。最早提出企业生命周期理论概念的是 Mason Hair,20 世纪 50 年代中期他提出可以用生物学中的“生命周期”观点来看待企业,企业的发展也符合生物学中的成长曲线[40]。企业生命周期理论在 20 世纪 80 年代达到繁荣,90 年代末出现新的高潮,其中 Miller、Friesen 通过实证研究了企业在成长过程中,在企业战略、组织结构、环境和制定决策风格 4 个方面表现出不同的特征[41]。爱迪斯将现实世界中的企业所表现出来的特性通过灵活性和可控性这两大因素之间的关系进行分类,在此基础上将企业的发展过程分为两大阶段:成长阶段和老化阶段,并进一步提出了企业的发展历程可以分为孕育期、婴儿期、学步期、青春期、盛年期、稳定期、贵族期、官僚化早期、官僚期与死亡的十阶段模型[42]。曹裕等 借鉴产业经济学增长率产业分类法来界定上市公司所处的企业生命周期阶段,将企业生命周期与智力资本相结合,采用面板数据模型和平均模型相结合的方法,利用上市公司一年的面板数据实证研究了不同生命周期阶段智力资本与企业绩效的关系[43]。

瑞士 ABB 公司的生命周期管理始于 1991 年,其首先确立了环保机构和环境策略,并通过环境审计和生命周期评价对制造工艺的环境表现进行审查;然后开始实施环境管理体系,开展集中培训,引入 LCA 软件工具和绿色设计方针,截止到 1999 年底,ABB 公司在全球的近 96%的部门实施了环境管理体系[5]。大型企业 Alcan 是全球原料铝及铝制产品生产的领军者,企业利用简化的 LCA 对产品和上下游工艺的环境影响进行评价,为高层管理、综合决策提供了充实和及时的信息[44]。卢瑛莹等通过重新设计和定位排污许可证制度,在管理范围、管理流程、管理内容上对现有环境管理体系进行改革创新,从而提出了基于排污许可证的企业全生命周期环境管理模式[45]。陈凌宇从产品生命周期的角度,采用规范研究和比较研究法,对企业环境成本管理进行了研究[46]。

可以看出企业层面的生命周期管理主要集中在少数大企业对产品、工艺的综合管理和决策上,而有关中小企业的生命周期管理则基本未见报道。实际上,中小企业虽规模较小,排污量少,但企业数量众多,污染物成分复杂,企业同时还面临淘汰落后工艺,提高产能和市场竞争力等问题,而实施生命周期管理以提高生态效率,可实现中小企业经济效益与环境效益的双赢[6]。因此,通过大型企业的示范和推广,在中小企业中开展生命周期管理将大有可为。

4.3 行业生命周期管理

在行业生命周期管理领域,LCM 已成功应用于商业、制造业、采掘业、建筑业、种植业、包装业、运输业等行业的管理中。Saur 对 LCM 在商业中的应用进行了探讨,认为较高的管理水平、营销理念、采购、产品设计以及研发等因素是应用 LCM 的条件,而法规、金融机构、市场和管理则是促进 LCM 发展的驱动力[18]。针对许多发展中国家环境数据不易获取的特点,Brent 选取水耗、能耗和废物排放 3 个参数,提出了制造业生命周期管理中的环境表现与资源影响指标(EPR II),并以南非为例,对原始设备制造商的环境表现进行了评价和比较,识别了其改进潜力[47];Carin 提出了加工业实施生命周期管理的社会影响指标,用于评价项目和技术的社会可持续性[48]。Oscar Ortiz 运用生命周期管理思想,对居民建筑住宅的生命周期过程中环境影响的最小化提出了一系列的可持续发展指标[49]。Nader M 等提出了基于生命周期管理的高速公路桥使用寿命的计算平台和框架,分析了高速公路桥可控制元素的优化模式[50]。

生命周期管理同样应用于采掘业和其他行业,Durucan 提出了采矿业的生命周期管理模型[51];Fourie 则尝试将生命周期管理用于闭矿过程中,以帮助主管部门对其进行科学评估[52]。Mouron 等对水果农场实施生命周期管理,通过对果园收益分析和生命周期评价,结果表明生态毒性、富营养化、不可再生资源消耗等环境影响可以不随收益增加而增加。杀虫剂、肥料和机器的高投入并不能带来高产量和收益,相反,新品种和收获前的劳动投入则可提高生态效率和农场收益[53]。此外,饮料包装与环境联盟(Alliance for Beverage Cartons and the Environment,ACE)对饮料包装业整个价值链开展了 LCM,为各利益相关方提供环境信息,使原材料木材的利用率提高近 50%[54]。

国内方面,行业生命周期管理也主要以建筑业偏多,其次为制造业。在建筑业方面,曹申等(2012)按照成本发生或延续的时间对绿色建筑全生命周期内产生的各项成本进行分类,建立绿色建筑全生命周期成本分析模型,提出绿色建筑全生命周期成本效益评价方法,并对某居住区的节水措施进行全生命周期成本效益评价,结果表明:通过有效控制成本并提高节约效益,绿色建筑相对普通建筑的增量成本有可能会在其全生命周期内得到回收,控制管理成本和延长设备使用寿命是实现成本控制的有效途径[55]。申琼等则采用生命周期评价理念设计了建筑行业生命周期环境管理集成解决方案,并介绍了该方案的主要功能特点,包括建材生产、建筑设计与建造、建筑运行等全生命周期过程的环境评价与管理系统[56]。赵甜甜等介绍了全生命周期成本分析和全生命周期成本管理理论在智能建筑项目全生命周期各个阶段(决策与设计阶段、招投标与施工阶段、运营维护阶段与拆除翻新阶段)的具体应用方法,并结合案例演示了该理论在决策与设计阶段的运用,对全生命周期造价理论在智能建筑中的应用具有一定的参考价值[57]。在制造业方面,徐树杰等借助 GREET 软件,构建单位质量原生与再生材料能耗、排放差异模型,从汽车全生命周期角度研究轻量化设计、新能源汽车对节能减排的影响,结果表明轻量化汽车、新能源汽车固然在汽车行驶过程中减少了能源消耗、降低了排放,但在汽车生产过程中需要消耗更多的能源,排放更多的温室气体[58]。张明静鉴于产品全生命周期管理效益评价在工业界的重要作用,提出了全面以企业目标为出发点的产品全生命周期管理效益评价模型,并成功运用到黄海船厂、京城重工等 8 家著名制造企业产品生命周期管理效益评价实践当中[59]。吴潇峰通过对服装行业产品生命周期管理系统现状,在对服装行业产品生命周期管理系统实际需求分析的基础上,提出了一种服装行业产品生命周期管理系统的设计方案,同时运用全文检索引擎软件工具,设计并实现了服装行业产品生命周期管理系统[60]。

由于应用对象的不同,各行业生命周期管理的工具和方法存在一定差异。但总体的研究思路基本上都是一致的,即选取可行的生命周期管理方法,对不同行业的价值链和产业生态链进行详尽的解构,并以此评估各环节的资源利用效率、物质消耗强度以及环境影响程度等,为产业部门的可持续生产和消费提供科学依据[6]。

4.4　城市固体废弃物生命周期管理

固体废弃物的生命周期管理是 LCM 应用的另一重要领域。Weitz 构建了固体废弃物综合管理的 LCM 框架并开发了相应的计算机决策支持工具,通过对环境影响和成本的计算,对固体废弃物综合管理策略的生命周期管理进行评估。他指出与传统产品生命周期评价从原材料获取开始不同,固体废弃物生命周期管理系统应从固体废弃物产生开始,包括收集、运输、分拣、修复、堆肥、焚烧,直至最终填埋,考虑固体废弃物在整个生命周期阶段的输入和影响[61]。Powell 研究了生命周期清单分析在地方政府进行废弃物管理决策时的应用,认为生命周期评价结果在实际决策中因诸多因素制约而使其应用受到限制[62]。David A 等运用物质流分析(Material Flow Analysis)和 LCA 相结合的方法,提出了关于城市量大复杂的固体废弃物的环境管理工具,该工具主要针对温室气体排放的环境绩效评估以及不同的废弃物处理策略的生态效率评估[63]。

国内在这方面的研究也较多,如徐成等对城市生活垃圾生命周期评价系统结构进行了研究[64],指出城市生活垃圾应在环境可持续性、经济可负担性及社会可接受性的原则基础上,通过对垃圾的减量化、无害化、资源化和社会化管理,实现城市可持续发展的管理目标[7,65];何德文等也对城市生活垃圾管理进行了生命周期

可行性分析,从减量化、资源化和无害化三方面提出了城市生活垃圾生命周期管理的具体措施[66]。宋小龙等通过分析工业固体废弃物管理过程与工业生产过程间的耦合关系,提出基于减量化过程的工业固体废物生命周期管理框架和方法,以铜渣管理的方案评估与决策过程为案例,证实了工业固体废弃物管理应将减量化过程纳入全生命周期管理方案中进行综合评估,而非简单遵循废弃物管理的优先顺序和等级制度[67]。钟真宜从构建工业园区固体废物生命周期管理边界模型出发,并以电子信息产业园区为例,将固体废物与不同的企业或生产过程紧密耦合,构建了企业和园区两个层面上的可行的较稳定的生命周期管理边界模型[68]。周莉莉等从场址选择、运营管理及封场修复 3 个方面对国外垃圾填埋场全生命周期管理进行分析,探讨了 Drastic、Monavari 95-2、GIS、USEPA、AHP 等技术在场址选择上的应用,梳理填埋场运营管理的各类监控指标,比较了目标值法、风险评估法、绩效法等在封场后续管理方面的使用[69]。李文娟基于生命周期管理的思想,建立了中国城市生活垃圾处理系统的框架,开发了能够衡量垃圾处理技术对环境影响的评价模型软件[70]。杨帆针对目前我国生活垃圾源头不分类,管理方式不清晰,造成末端处理处置难度大和资源浪费的问题,从工厂和区域两个尺度对生活垃圾处理技术和管理方式进行优化研究,其中在区域尺度上,以北京市东西城南部为目标区域,进行不同生活垃圾管理情景的全过程生命周期评价,提出生活垃圾最优管理方案,即:生活垃圾源头大类粗分模式,可明显降低生活垃圾管理系统中的总环境影响潜势,在此基础上,采用厨余垃圾堆肥典型污染气体减排技术措施,可进一步降低系统的温室效应潜势[71]。

生命周期管理还应用于废旧(弃)产品和包装物的管理。Ahluwalia 基于生命周期提出了废旧电脑综合管理的多目标最优化模型,该模型针对不同经济效益、潜在风险和环境影响目标,评价废旧电脑管理成本、再利用时间范围和生命周期各类物质流量[72]。Guerin 对废弃润滑油的生命周期管理进行了探索,明确了企业、消费者、当地政府等各个利益相关方的环境责任[73]。Keoleian 对牛奶包装生命周期设计和管理进行了研究,利用生命周期清单分析和成本分析方法对其中不同材质的牛奶包装进行比较,识别了可再装的高密度聚乙烯瓶、聚碳酸酯瓶和具柔韧性的小袋包装在环境方面的优势[74];Perugini 也利用生命周期评价对塑料包装废弃物管理的不同处理方式进行了比较[75];Ayalon 等使用多维生命周期评价方法,对以色列的软饮料容器的废弃物管理政策进行了研究,认为应将国际贸易中的产品生命周期影响所造成的外部成本内部化,纳入产品的最终价格中,以促进贸易全球化背景下基于产品的可持续发展。该研究反映了目前国际贸易中产品的可持续管理要求,即需要对全球尺度上产品的生产、消费以及最终处置进行管理,以控制国际贸易中无法内部化的外部成本[76]。宋小龙等[77]从我国电子废弃物回收处理行业发展与管理的现状入手,通过解析行业发展概况、瓶颈以及管理中存在的现实问题等,提出了基于全过程视角的生命周期管理框架与策略,并对电子废弃物生命周期管理的发展前景和未来趋势进行展望。David Zambrana-Vasquez 等提出了城市建筑废弃物的生命周期管理的环境绩效模型并以第三纪建筑废弃物的环境绩效为案例进行了分析[78]。另外,Goro Mouri 等用生命周期管理方法分析了城市污水处理系统的化学强化效应[79]。

总体来说,大部分研究是从 LCA 角度探讨固体废弃物综合管理,主要包括:利用 LCA 比较不同固废处置方式的环境表现[80-82];利用生命周期清单进行分析[62,83];综合运用 LCA 和 LCC 对城市废弃物管理的经济方面进行评价[84];利用 LCA 对食品生产中的废弃物进行管理[85]。实际上,英国、美国、加拿大、德国和瑞典等国已经将 LCA 工具应用到废弃物综合管理的具体实践中[86-87]。比如在生活垃圾管理系统中,LCA 能为技术人员分析、比较不同处理方案的环境影响;为垃圾资源回收、再利用提供依据;辅助产品研发人员设计出环境影响小且易回收的产品;为环境管理部门制定环境标准,实施生态标志计划。此外,有部分研究者提出在固体废弃物综合管理中应考虑不确定性[88],在固体废弃物综合管理决策支持工具中加入不确定性分析[89]。

5 生命周期管理研究展望

从现有研究来看,由于都是源于生命周期思想,故大部分有关 LCM 的探索仍是从 LCA 出发,利用评价结果从环境的角度为管理和决策服务,少数研究将收益分析与环境评价综合起来,而从生态系统尺度上进行综

合分析的案例不多，对产业生态系统的空间监管方法也还有待于进一步拓展。LCM 作为一种有效的环境管理工具，从理论到实践都处在发展的起步阶段，急需大量的理论探索和应用实践。基于此，以下领域有待于深入研究并实现突破：

（1）尽管生命周期管理研究越来越广泛和深入，但其同清洁生产审核（CPA）、环境影响评价（EIA）、ISO14000 环境管理系列标准、逆向供应链管理、生产者责任延伸制度等现有环境管理手段的整合还有待于进一步优化。相对于 LCA 和 MFA 等成熟的产业生态学方法，LCM 目前还停留在一种可持续管理的思想和概念上[90]，近年来基于 LCA 和 MFA 整合的方法已逐渐增多，但在对其应用的过程中，仍需要理清它同其他环境管理工具如环境 CGE 模型、多目标优化决策模型等的关系，并在此基础上寻求整合途径。

（2）目前生命周期管理（LCM）应用的领域仍局限于 LCA 所应用的范围，这可能是由于两者都是源自于生命周期思想，而 LCM 又是基于 LCA 分析评价结果的基础之上对生命周期各阶段或环节的环境最优决策提出管理方法，它是面向可持续生产和消费，对产品、工艺的全生命周期进行的综合管理[4]。而对于诸如产品组合、工艺集成、服务项目等的生命周期评价及管理还缺乏有效的及更多的案例研究；对于尺度上的研究也仅局限于产品、企业和行业，对于城市尺度上的仅有城市固体废物的生命周期管理研究较为成熟，对于较大的城市生态系统如城市社区、城市社会-经济-自然复合生态系统的演化规律及其生命周期管理更缺乏系统的研究；在研究对象上，也缺乏诸如废水、废气、土壤（土地）污染等方面的生命周期管理研究；在行业层次上，也缺乏农业、服务业等方面的相关研究。

（3）生命周期管理方法、技术和工具的开发[91]，尤其是对生命周期社会经济方面的评价以及计算机决策系统的设计。生命周期社会分析（Social Life Cycle Assessment，S-LCA）关注生命周期内的社会、经济影响[92]，应用于生命周期管理可促进对生命周期可持续性的全面评价。此外，基于 LCA 软件开发一体化的 LCM 计算机模型和决策系统，将规范环境管理者对 LCM 的执行与操作。

（4）生命周期管理的尺度推绎及空间监管方法或机制的确立。目前生命周期管理主要应用于产品、企业、行业及城市固体废弃物等方面，而在产业生态系统尺度上探讨生命周期管理的机理及空间监管方法上应用不足。在空间上的应用主要还是基于 GIS 的基础设施的生命周期管理系统的开发与研究[93]。而对于目前比较热门的城市工业用地的生命周期管理研究还是空白。

（5）各利益相关方的合作及生命周期管理信息交流机制的确立。在生命周期管理过程中，应注重各利益相关方之间信息和行为的必要沟通，探索建立自上而下包括国家、地方政府、企业、研究人员和社会公众在内的信息共享平台与合作机制，对管理措施进行及时公布、实施、反馈和完善。

（6）生命周期管理在发展中国家和中小企业中的应用。许多发展中国家正处在快速工业化和城市化进程中，在今后一段时间内都将面临固体废弃物显著增长的困境，为优化固体废弃物管理系统，避免建设不合理的固体废弃物管理基础设施，开展固体废弃物生命周期管理显得尤为重要。如何将生命周期管理纳入发展中国家的可持续发展以及中小企业的能力建设过程中，有待深入研究。

参考文献（References）：

［1］ 王如松，周涛，陈亮，刘晶茹，王震．产业生态学基础．北京：新华出版社，2006．

［2］ 张晶．产业生态系统的定量解析与评价及仿真［D］．北京：中国矿业大学，2012．

［3］ Graedel T E，Allenby B R. Industrial Ecology. Englewood Cliffs，NJ：Prentice Hall，1995.

［4］ UNEP. Background report for a UNEP Guide to life cycle management-a bridge to sustainable products. Paris：United Nations Environment Programme，2006：8-65.

［5］ Remmen A，Jensen A A，Frydendal J. Life cycle management. A business guide to sustainability. Paris：UNEP，2007：10-38.

［6］ 宋小龙，徐成，赵丽娜，陈波，杨建新．生命周期管理研究现状与展望．生态经济（学术版），2010，（3）：47-51．

［7］ 徐成，胡聃．城市生活垃圾的生命周期管理．中国人口·资源与环境，1999，9（2）：56-60．

［8］ SETAC. A Conceptual Framework for Life Cycle Impact Assessment. Pensacola，FL：SETAC Press，1993.

［9］ 王长波，张力小，庞明月．生命周期评价方法研究综述——兼论混合生命周期评价的发展与应用．自然资源学报，2015，30（7）：

1232-1242.
[10] Joshi S. Product environmental life-cycle assessment using input-output techniques. Journal of Industrial Ecology, 2000, 3(2/3): 95-120.
[11] Mattila T J, Pakarinen S, Sokka L. Quantifying the total environmental impacts of an industrial symbiosis-a comparison of process-, hybrid and input-output life cycle assessment. Environmental Science & Technology, 2010, 44(11): 4309-4314.
[12] Chen G Q, Chen Z M. Carbon emissions and resources use by Chinese economy 2007: A 135-sector inventory and input-output embodiment. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2010, 15(11): 3647-3732.
[13] 侯萍, 王洪涛, 朱永光, 翁端. 中国资源能源稀缺度因子及其在生命周期评价中的应用. 自然资源学报, 2012, 27(9): 1572-1579.
[14] Hunkeler D, Rebitzer G, Jensen A A, Margni M. Life cycle management: bridging the gap between science and application. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2001, 6(6): 384-390.
[15] Sonnemann G W, Solgaard A, Saur K, De Haes H A U, Christiansen K, Jensen A A. Life cycle management: UNEP-Workshop: sharing experiences on LCM. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2001, 6(6): 325-333.
[16] Brady K, Hensen P, Fava J A. Sustainability, eco-efficiency, life-cycle management, and business strategy. Environmental Quality Management, 1999, 8(1): 33-41.
[17] Saur K, Donato G, Flores E C, Frankl P, Jensen A A, Kituyi E, Lee K M, Swarr T, Tawfic M, Tukker A. Draft final report of the LCM definition study. Households, 2003: 7-17.
[18] Saur K. Life cycle management as a business strategy for sustainability. Environmental Progress, 2003, 22(4): 237-240.
[19] Sonnemann G, De Leeuw B. Life cycle management in developing countries: state of the art and outlook. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006, 11(1): 123-126.
[20] 严曾. 生命周期管理框架与实施. 上海师范大学学报: 自然科学版, 2001, 30(3): 89-93.
[21] 格雷德尔, 艾伦比. 产业生态学. 施涵, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004: 176-178.
[22] ISO 14040-1997. Environmental Management: Life Cycle Assessment: Principles and Framework. International Standard Organization, 1997.
[23] 林云莲. 产业生态管理: 一种可持续发展的管理新范式. 科学管理研究, 2006, 24(1): 33-35.
[24] 周文宗, 刘金娥, 左平, 王光. 生态产业与产业生态学. 北京: 化学工业出版社, 2005.
[25] 万举勇. 机电产品全生命周期环境管理体系及关键技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
[26] Dean J. Pricing policies for new products. Harvard Business Review, 1950, 28(6): 45-53.
[27] Levitt T. Exploit the product life cycle. Harvard Business Review, 1965, 43(6): 81-94.
[28] Rink D R, Swan J E. Product life cycle research: a literature review. Journal of Business Research, 1979, 7(3): 219-242.
[29] 熊光楞. 并行工程的理论与实践. 北京: 清华大学出版社, 2001.
[30] Hashitera Y, Saotome C, Yamamoto H. Analysis of 10 years drug lifecycle management (LCM) activities in the Japanese market. Drug Discovery Today, 2013, 18(21-22): 1109-1116.
[31] Kituyi E. Towards sustainable production and use of charcoal in Kenya: exploring the potential in life cycle management approach. Journal of Cleaner Production, 2004, 12(8/10): 1047-1057.
[32] Andriankaja H, Vallet F, Le Duigou J, Eynard B. A method to ecodesign structural parts in the transport sector based on product life cycle management. Journal of Cleaner Production, 2015, 94: 165-176.
[33] Gmelin H, Seuring S. Achieving sustainable new product development by integrating product life-cycle management capabilities. International Journal of Production Economics, 2015, 154: 166-177.
[34] Zhou J, Love P E D, Matthews J, Carey B, Sing C P. Object-oriented model for life cycle management of electrical instrumentation control projects. Automation in Construction, 2015, 49: 142-151.
[35] Baraki Y A, Brent A C. Technology transfer of hand pumps in rural communities of Swaziland: Towards sustainable project life cycle management. Technology in Society, 2013, 35(4): 258-266.
[36] 李德治. 轮胎生产与资源循环利用的全生命周期过程研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2013.
[37] 黄双喜, 范玉顺. 产品生命周期管理研究综述. 计算机集成制造系统, 2004, 10(1): 1-9.
[38] 王明新, 夏训峰, 柴育红, 刘建国. 农村户用沼气工程生命周期节能减排效益. 农业工程学报, 2010, 26(11): 245-250.
[39] 周亮亮, 刘朝. 洁净燃煤发电技术全生命周期评价. 中国电机工程学报, 2011, 31(2): 7-14.
[40] Haire M. Biological Models and Empirical Histories of the Growth of Organizations. California: University of California, 1960.
[41] Miller D, Friesen P F. A longitudinal study of the corporate life cycle. Management Science, 1984, 30(10): 1161-1183.
[42] 伊查克·爱迪斯, 著. 企业生命周期. 赵睿, 译. 北京: 中国社会科学出版社, 1997.
[43] 曹裕, 陈晓红, 马跃如. 基于企业生命周期的智力资本与企业绩效关系. 系统工程理论与实践, 2010, 30(4): 577-586.
[44] Rebitzer G, Buxmann K. The role and implementation of LCA within life cycle management at Alcan. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(13-

14): 1327-1335.
[45] 卢瑛莹, 冯晓飞, 陈佳. 基于排污许可证的企业全生命周期环境管理研究. 生态经济, 2016, 32(1): 102-104.
[46] 陈凌宇. 基于产品生命周期的企业环境成本管理研究[D]. 郑州: 河南大学, 2015.
[47] Brent A C, Visser J K. An environmental performance resource impact indicator for life cycle management in the manufacturing industry. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(6): 557-565.
[48] Brent A, Labuschagne C. Social indicators for sustainable project and technology life cycle management in the process industry (13pp+4). The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006, 11(1): 3-15.
[49] Ortiz O, Bonnet C, Bruno J C, Castells F. Sustainability based on LCM of residential dwellings: a case study in Catalonia, Spain. Building and Environment, 2009, 44(3): 584-594.
[50] Okasha N M, Frangopol D M. Computational platform for the integrated life-cycle management of highway bridges. Engineering Structures, 2011, 33(7): 2145-2153.
[51] Durucan S, Korre A, Melendez G. Mining life cycle modelling: a cradle-to-gate approach to environmental management in the minerals industry. Journal of Cleaner Production, 2006, 14(12-13): 1057-1070.
[52] Fourie A, Brent A C. A project-based mine closure model (MCM) for sustainable asset life cycle management. Journal of Cleaner Production, 2006, 14(12-13): 1085-1095.
[53] Mouron P, Scholz R W, Nemecek T, Weber O. Life cycle management on Swiss fruit farms: relating environmental and income indicators for apple-growing. Ecological Economics, 2006, 58(3): 561-578.
[54] Haes H, Rooijen M. Life Cycle Approaches: the road from analysis to practice. United Nations Environmental Programme, 2005: 36-38.
[55] 曹申, 董聪. 绿色建筑全生命周期成本效益评价. 清华大学学报: 自然科学版, 2012, 52(6): 843-847.
[56] 申琼, 杨洁, 侯萍, 朱永光, 王洪涛. 建筑生命周期环境管理集成解决方案. 土木建筑与环境工程, 2013, 35(Z1): 215-218, 237-237.
[57] 赵甜甜, 左佳, 彭钰. 智能建筑全生命周期造价管理研究. 四川建筑, 2015, 35(2): 292-294.
[58] 徐树杰, 董长青. 基于 GREET 汽车全生命周期能耗排放研究. 汽车工艺与材料, 2014, (2): 10-13.
[59] 张明静, 王清华, 莫欣农, 张力. 产品全生命周期管理效益评价方法. 计算机集成制造系统, 2011, 17(2): 362-368.
[60] 吴潇峰. 服装行业产品生命周期管理系统的研究与实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
[61] Weitz K, Barlaz M, Ranjithan R, Brill D, Thorneloe S, Ham R. Life cycle management of municipal solid waste. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1999, 4(4): 195-201.
[62] Powell J. The potential for using life cycle inventory analysis in local authority waste management decision making. Journal of Environmental Planning and Management, 2000, 43(3): 351-367.
[63] Turner D A, Williams I D, Kemp S. Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. Journal of Cleaner Production, 2016, 129: 234-248.
[64] 徐成, 杨建新, 胡聃. 城市生活垃圾生命周期管理. 城市环境与城市生态, 1998, 11(3): 52-55.
[65] 杨建新. 产品生命周期评价方法及应用. 徐成, 王如松, 译. 北京: 气象出版社, 2002: 153-170.
[66] 何德文, 陈雍森, 张益. 城市生活垃圾管理生命周期分析研究. 污染防治技术, 2001, 14(4): 7-10.
[67] 宋小龙, 徐成, 杨建新, 吕彬, 赵丽娜. 工业固体废物生命周期管理方法及案例分析. 中国环境科学, 2011, 31(6): 1051-1056.
[68] 钟真宜. 工业园区固体废物生命周期管理边界模型的构建. 中国环境管理, 2013, (6): 7-10.
[69] 周莉莉, 车越, 郜俊, 杨凯. 国外垃圾填埋场全生命周期管理经验及其启示. 环境卫生工程, 2013, 21(3): 1-6.
[70] 李文娟. 基于生命周期评价的中国城市生活垃圾处理评价模型及软件的研究与开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
[71] 杨帆. 生活垃圾堆肥过程污染气体减排与管理的生命周期评价研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
[72] Ahluwalia P K, Nema A K. A life cycle based multi-objective optimization model for the management of computer waste. Resources, Conservation and Recycling, 2007, 51(4): 792-826.
[73] Guerin T F. Environmental liability and life-cycle management of used lubricating oils. Journal of Hazardous Materials, 2008, 160(2/3): 256-264.
[74] Keoleian G A, Spitzley D V. Guidance for improving life-cycle design and management of milk packaging. Journal of Industrial Ecology, 1999, 3(1): 111-126.
[75] Perugini F, Mastellone M L, Arena U. A life cycle assessment of mechanical and feedstock recycling options for management of plastic packaging wastes. Environmental Progress, 2005, 24(2): 137-154.
[76] Ayalon O, Avnimelech Y, Shechter M. Application of a comparative multidimensional life cycle analysis in solid waste management policy: the case of soft drink containers. Environmental Science & Policy, 2000, 3(2/3): 135-144.
[77] 宋小龙, 王景伟, 杨建新, 吕彬, 沈燕军. 电子废弃物生命周期管理: 需求、策略及展望. 生态经济, 2016, 32(1): 105-110.
[78] Zambrana-Vasquez D, Zabalza-Bribián I, Jáñez A, Aranda-Usón A. Analysis of the environmental performance of life-cycle building waste

management strategies in tertiary buildings. Journal of Cleaner Production, 2016, 130: 143-154.

[79] Mouri G, Takizawa S, Fukushi K, Oki T. Estimation of the effects of chemically-enhanced treatment of urban sewage system based on life-cycle management. Sustainable Cities and Society, 2013, 9: 23-31.

[80] Arena U, Mastellone M L, Perugini F. The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. Chemical Engineering Journal, 2003, 96(1/3): 207-222.

[81] Hong R J, Wang G F, Guo R Z, Cheng X, Zhang P J, Qian G R. Life cycle assessment of BMT-based integrated municipal solid waste management: case study in Pudong, China. Resources, Conservation and Recycling, 2006, 49(2): 129-146.

[82] Lundie S, Peters G M. Life cycle assessment of food waste management options. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(3): 275-286.

[83] McDougall F R, Hruska J P. Report: the use of life cycle inventory tools to support an integrated approach to solid waste management. Waste Management and Research, 2000, 18(6): 590-594.

[84] Reich M C. Economic assessment of municipal waste management systems case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC). Journal of Cleaner Production, 2005, 13(3): 253-263.

[85] Ohisson T. Food Waste Management by life cycle assessment of the food chain. Journal of Food Science, 2004, 69(3): CRH107-CRH109.

[86] Thomas B, McDougall F. International expert group on life cycle assessment for integrated waste management. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(3): 321-326.

[87] McDougall F. 城市固体废弃物综合管理:生命周期的视角. 诸大建, 邱寿丰, 译. 上海: 同济大学出版社, 2006: 130-164.

[88] Bieda B, Tadeusiewicz R. Decision support systems based on the life cycle inventory for municipal solid waste management under uncertainty. International Transactions in Operational Research, 2008, 15(1): 103-119.

[89] Kaplan P Ö, Barlaz M A, Ranjithan S R. A procedure for life-cycle-based solid waste management with consideration of uncertainty. Journal of Industrial Ecology, 2004, 8(4): 155-172.

[90] Jørgensen T H. Towards more sustainable management systems: through life cycle management and integration. Journal of Cleaner Production, 2008, 16(10): 1071-1080.

[91] Biswas G, Kawamura K, Hunkeler D, Dhingra R, Caffey L, Huang E. An environmentally conscious decision support system for life-cycle management. Journal of Industrial Ecology, 1998, 2(1): 127-142.

[92] Benoit C, Mazijn B. Guidelines for social life cycle assessment of products: a social and socio-economic LCA code of practice complementing environmental LCA and Life Cycle Costing, contributing to the full assessment of goods and services within the context of sustainable development. United Nations Environmental Programme, 2009: 16-36.

[93] 赵庆亮. 基于 GIS 的城市道路全生命周期管理系统的研究. 北京测绘, 2013, (1): 31-35.